

Filtersandschichten in Grundwasseranreicherungs-Anlagen als künstliche Biotope aquatiler Subterranorganismen

Husmann, Siegfried

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 13, 1961,
S.163-181



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Filtersandschichten in Grundwasseranreicherungs-Anlagen als künstliche Biotope aquatiler Subterranorganismen

Von Siegfried Husmann, Schlitz¹⁾

Vorgelegt von Herrn C. R. Boettger

(Eingegangen am 21. 9. 1961)

Summary: Layers of sand in special "s'ow filters" which are used for infiltration of river-water into the subsoil water stream of the Ruhr, have been tested hydrobiologically in order to find out, if these sands are colonized by subterranean organisms in a similar manner like the natural "mesopsammal" (Remane). The tested sands have proved as artificial biotops of caraceteristical elements of the interstitial subsoil water fauna.

Übersicht: Filtersandschichten in Grundwasseranreicherungs-Anlagen, die der Infiltration von Flußwasser in den Grundwasserstrom der Ruhr dienen, wurden hydrobiologisch untersucht, um festzustellen, ob diese Sande auf ähnliche Weise wie das natürliche „Mesopsammal“ (Remane) von Subterranorganismen besiedelt werden. Die untersuchten Substrate erwiesen sich als künstliche Biotope stygobionter und stygophiler Elemente der mesopsammalen Grundwasserfauna.

1. Einleitung

Im Jahre 1927 erkannten Sassuchin, Kabanov und Neizwestnova [45], daß die intergranularen Lückensysteme grundwasserführender Ufersande von Tieren besiedelt werden. Auf Grund dieser Entdeckung wurde die bis dahin allgemein gültig gewesene Auffassung widerlegt, nach der fluviatile Sandablagerungen als „beinahe steril“ (Forel [15], S. 182) galten. Die überraschende Feststellung der genannten Autoren regte zur weiteren Erforschung der so lange „übersehenen“ eigenartigen „Sandlückenfauna“ (Remane) an; und die Arbeiten zahlreicher Forscher [1, 7, 8, 12, 14, 16, 17, 20, 26, 27, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 46, 55] führten zur Entdeckung einer artenreichen „mesopsammalen“ (Remane) Grundwasserfauna. Diese Lebensgemeinschaft, das „Hydrosammon“ (Wiszniewski) oder „Mesopsammon“ (Remane) setzt sich vorwiegend aus Rotatorien, Turbellarien, Nematoden, Oligochaeten, Copepoden und syncariden Krebsen zusammen; und die Faunenelemente dieser zwischen Sandkörnern lebenden Biozönose vermögen bei günstigen Lebensbedingungen in erstaunlich hohen Individuenzahlen aufzutreten.

Nachdem neuerdings erkannt worden war, daß Sandschichten in Langsamfiltern, die der Aufbereitung von Flußwasser zu Trinkwasser dienen, künstliche Biotope typischer Sandlückenorganismen darstellen (Husmann [22, 25]), lag

¹⁾ Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für finanzielle Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

die Vermutung nahe, daß auch die in Grundwasseranreicherungs-Anlagen wirksamen Filtersande von derartigen Tieren besiedelt sein könnten.

Im Ruhrtal ergaben sich innerhalb von Wasserwerksanlagen der Städte Dortmund, Gelsenkirchen, Hamm und Mülheim günstige Gelegenheiten, solche Anlagen auf die oben erwähnte Annahme hin zu überprüfen, und die in den Jahren 1955, 1956, 1960 und 1961 ausgeführten Untersuchungen führten zum Auffinden von Turbellarien, Nematoden, Oligochaeten, Copepoden und Wassermilben in den Sandlückensystemen der untersuchten Anreicherungs-Langsamfilter.

Ich danke den Herren Direktoren der genannten Unternehmen für die Erlaubnis zur Ausführung dieser Arbeiten, ferner für die Stellung von Hilfskräften bei Probenentnahmen, besonders aber auch für das Entgegenkommen, chemische Wasseranalysen in den Werkslaboratorien ausführen lassen zu dürfen. Vor allem aber gilt ein dankbares Gedenken dem einstigen Leiter der Hydrologischen Forschungsstelle der Dortmunder Stadtwerke A.G., Herrn Dr. C. R. Baier, der — als *Thienemann*-Schüler — aus seinem reichen limnologischen Wissen heraus die ersten Anfänge dieser ökologischen Untersuchungen mit manchem Rat förderte, bis sein allzufrüher Tod einer unvergessenen guten Zusammenarbeit ein Ende setzte.

2. Zweck, Bau- und Wirkungsweise der Grundwasseranreicherungs-Anlagen des Ruhrtales

Der infolge einer besonders dichten Industrie- und Siedlungsballung im Ruhrgebiet außerordentlich hohe und immer noch weiter anwachsende Wasserbedarf wird in dieser Gegend in entsprechend hohem Maße aus dem Grundwasserstrom der Ruhr gedeckt. Doch bei dem hier geförderten Trinkwasser handelt es sich nicht etwa um ein reines Naturprodukt, sondern vielmehr um ein mit Oberflächenwasser künstlich vermisches Subterranwasser. Denn die stetigen hohen Wasserentnahmen aus dem kiesigen Untergrund des Ruhrtales drängen hier zu intensiven Maßnahmen, dem drohenden Absinken des Grundwasserspiegels mittels einer technisch erzielten Infiltration von Flußwasser in den Grundwasserstrom hinein entgegenzuwirken. Nur durch eine solche ständig betriebene „künstliche Grundwasseranreicherung“ ist es überhaupt möglich, die subterrane Wasserreserve der Ruhrtalaue nicht kontinuierlich durch Raubbau der Erschöpfung nahe zu bringen.

Wenn auch zweifellos die intergranular ständig wirksame natürliche Sandfiltration einen großen Teil der im Zuge der Anreicherung laufend ins Grundwasser gelangenden Ruhrwasserverunreinigung „verkräften“ könnte, so hat man bei der künstlichen Hebung des Grundwasserspiegels doch von vornherein trinkwasserhygienische Gesichtspunkte bei der Durchführung derartiger Eingriffe in den unterirdischen Wasserhaushalt peinlichst berücksichtigt, insofern, als das für die Infiltration in den Untergrund vorgesehene Ruhrwasser Langsamsandfilter zu passieren hat, ehe es in den subterranean Bereich einsickert.

Das die bis zu 150 m langen und 50 m breiten, in die lehmigen Ablagerungen der Talaue eingebetteten Anreicherungsbecken speisende Ruhrwasser fließt aus einem Zuleitungskanal zunächst in eine Auffangwanne aus locker gelagerten Bruchsteinen, um darin eine erhebliche Verringerung seiner Strö-

mungsgeschwindigkeit zu erfahren und dann, ohne den Filtersand aufzuwühlen, nur langsam durch die Zwischenräume der Bruchsteinwanne hindurch in die Filtersande einzusickern (Abb. 1). Das in Einlaufnähe zunächst von den Filtersanden „geschluckte“ Rohwasser schwemmt allmählich soviel Schwebstoffe in die oberflächennahen Sandlückensysteme, daß ein zügiges Versickern des einströmenden Infiltrationswassers zunehmend gehemmt wird. Daher schiebt

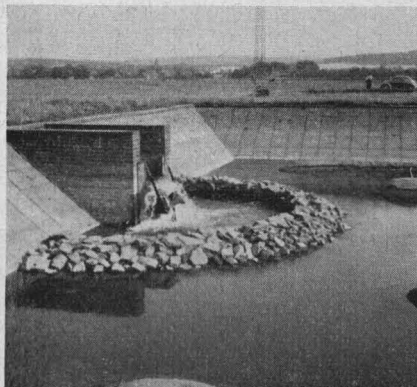


Abb. 1. Rohwassereinlauf
in Grundwasseranreicherungsbecken Do/Wa/5



Abb. 2. „Labile Wassergrenze“
des sich mit Rohwasser anfüllenden
Anreicherungsbeckens Do/Rh/1

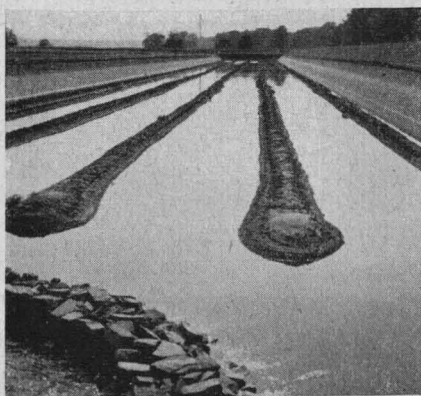


Abb. 3. Grundwasseranreicherungsbecken
Do/Wa/5. Aus dem Wasserspiegel ragen Dämme,
zu denen die „Schmutzschicht“
bei Filterreinigung aufgeworfen wurde

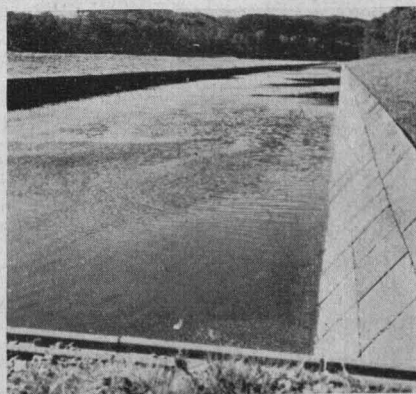


Abb. 4. Grundwasseranreicherungsbecken
Do/Rh/2 in vollem Betrieb

sich das stetig nachfließende und nicht versickernde Rohwasser langsam in anfangs dünner Schicht über der Sandoberfläche des Anreicherungsbeckens vorwärts, bis die vordere, labile Wassergrenze (Abb. 2) das Beckenende erreicht hat und nun ein stetiges Steigen der Wasseroberfläche — sich selber dabei beeinträchtigend — dem Versickern durch den wachsenden Druck der zunehmenden Wassermassen „nachhilft“ (Abb. 3 u. 4).

Das im Filtersand versickernde Rohwasser durchströmt zunächst die intergranularen Lückensysteme einer 40–80 cm mächtigen Sandschicht, gelangt dann nacheinander in verschiedene Geröllschichten, deren Substratkomponenten zur Tiefe hin an Größe zunehmen, bis letztere schließlich ohne deutlich merkbaren Wechsel in die den Lehm der Talaue unterlagernden Geröll- und Sandaufschüttungen übergehen. Die Filterschichten in Grundwasseranreicherungsbecken bilden also sozusagen das „künstliche Hangende“ der fluviatilen sandigkiesigen Ablagerungen, durch deren Lückensysteme hindurch das Filtrat ins Grundwasser einsickert (Abb. 5).

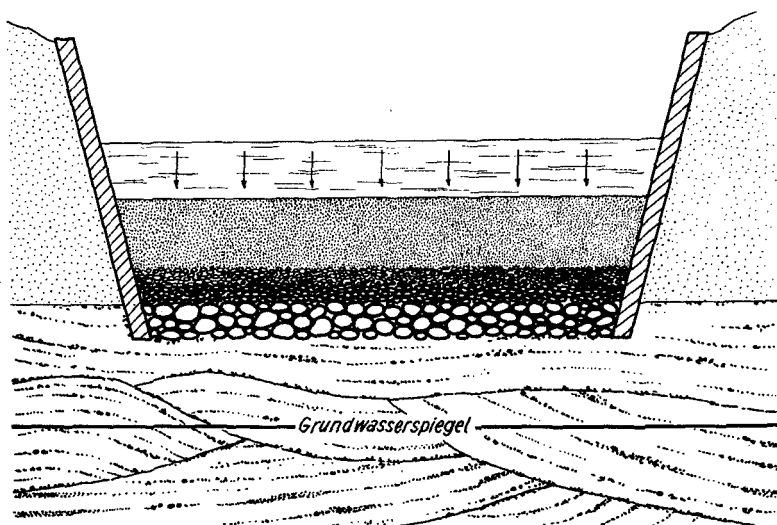


Abb. 5. Schema eines Grundwasseranreicherungsbeckens; Breite verkürzt dargestellt

3. Die Beschaffenheit des Infiltrationswassers

Die untersuchten Grundwasseranreicherungs-Anlagen werden nicht allein von verunreinigtem Ruhrwasser durchströmt; sie können auch zweitweise vom Grundwasser erfaßt werden, nämlich in Hochwasserphasen, während derer das Grundwasser in die Filtersandschichten oder gar in die Becken hinein aufsteigen kann, was noch dadurch Begünstigung findet, daß gerade bei Hochwässern die Zufuhr von Oberflächenwasser gedrosselt wird, um Schlamm- und Lehmablagerungen in den Filterteichen zu vermeiden. Eine solche gegen den üblichen Strom gerichtete Infiltration von Grundwasser in die Langsamfilter tritt nur hin und wieder, als seltene Ausnahme, in Erscheinung, ist aber insofern bemerkenswert, als dieser Vorgang ein Einwandern stygobionter Grundwassertiere in die Filtersande hinein begünstigen kann. Ganz besonders für solche in Oberflächengewässern nicht vorkommenden, vom Grundwasser her in die Filtersande gelangenden oder mit dem Sand verschleppten Mesopsammalorganismen (S. 176) wird die Beschaffenheit des normalerweise in die Sandschichten einströmenden Ruhrwassers zu einem wesentlichen ökologischen Faktor, der es

unter Umständen nur bestimmten, „physiologisch geeigneten“ Elementen des Mesopsammon gestattet, Filtersande zu besiedeln.

Innerhalb der Grundwasseranreicherungs-Anlage der Dortmunder Stadtwerke A.G. in Wandhofen (Ruhr) wurde ein erster Versuch ausgeführt, das Anreicherungswasser an verschiedenen Stellen auf seinem Strömungswege von der Ruhr durch ein Vorklär- und ein Anreicherungsbecken hindurch bis ins Grundwasser hinein chemisch zu analysieren (Abb. 6, Tab. 1). Die Oberflächenproben dieser Untersuchungsreihe wurden — vgl. Markierungen auf Abb. 6 — am Ruhrwassereinlauf in das Klärbecken (A), in der Mitte des Klärbeckens (B), am Ausfluß des Klärbeckens in das Anreicherungsbecken 5 (C), in der Mitte (E) und am Ende des Anreicherungsbeckens 5 (G) entnommen. Die Entnahme der Subterranproben erfolgte mittels einer Handpumpe aus extra für diesen Zweck geschlagenen Peilrohren dicht neben der Längsseite von Anreicherungsbecken 5, und zwar immer an den Stellen (D, F, H), in deren unmittelbarer Nähe die Oberflächenproben C, E, G entnommen wurden (Abb. 6).

	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Temperatur °C</i>	14,9	15,5	15,7	15,5	17,5	16,4	17,7	17,5
<i>pH - Wert</i>	7,3	7,3	7,3	7,1	8,3	7,1	8,7	7,3
<i>KMnO₄ Verbr. mg/l</i>	8,0	7,0	8,3	2,8	6,7	2,8	7,0	2,8
<i>Ges. Härte °DH</i>	7,1	7,1	7,2	6,5	7,0	6,8	6,1	6,8
<i>CO₂ frei mg/l</i>	3,3	3,3	3,3	4,4	2,0	4,4	3,0	4,4
<i>O₂ sofort mg/l</i>	9,3	9,2	8,6	6,6	?	7,7	?	7,7
<i>NH₄ mg/l</i>	0,43	0,72	0,52	0,02	0,23	0,08	0,10	0,04
<i>NO₂ mg/l</i>	0,29	0,30	0,32	0,02	0,17	0,06	0,13	0,03
<i>NO₃ mg/l</i>	12,8	14,6	16,0	16,0	12,5	17,3	9,6	16,8
<i>SO₄ mg/l</i>	47,1	53,8	54,8	44,2	59,5	49,9	51,8	49,0
<i>PO₄ mg/l</i>	0,13	0,13	0,12	0,18	0,08	0,09	0,06	0,12
<i>Cl mg/l</i>	23,0	23,0	22,0	22,0	23,0	23,5	22,0	22,5
<i>Ca mg/l</i>	40,9	40,5	41,7	37,3	40,9	39,3	33,7	38,5
<i>Mg mg/l</i>	5,8	6,1	6,1	5,6	5,6	5,8	5,8	6,3
<i>Fe mg/l</i>	0,25	0,15	0,22	0,28	0,05	2,8	0,15	4,0
<i>Mn mg/l</i>	0,02	—	Spur	—	—	—	—	—

▨ Oberflächenwasser ■ Subterranes Mischwasser

Tab. 1. Die Beschaffenheit des Infiltrationswassers und des „Subterranen Mischwassers“ im Grundwasseranreicherungsgebiet Wandhofen (Ruhr) am 11. 8. 1961. Lage der Untersuchungsstellen s. Abb. 6

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, erfährt das der Ruhr entstammende Infiltrationswasser auf seinem durch ein Klärbecken hindurchführenden Wege vom Fluß bis ans Ende des Grundwasseranreicherungsbeckens 5 (Abb. 6) eine beachtliche Aufbesserung seines Reinheitsgrades¹⁾. So geht beim Hindurchfließen durch diese teichartigen Biotope beispielsweise der Ammoniakgehalt des Rohwassers von 0,72 mg/l auf 0,10 mg/l zurück und der Nitritgehalt von 0,29 mg/l auf 0,13 mg/l. Dabei verhält sich der Nitratgehalt ganz den in diesen

¹⁾ Dem Leiter der Hydrologischen Forschungsstelle der Dortmunder Stadtwerke A. G., Herrn Dr. W. H. Frank, danke ich für die Anfertigung der chemischen Wasseranalysen.

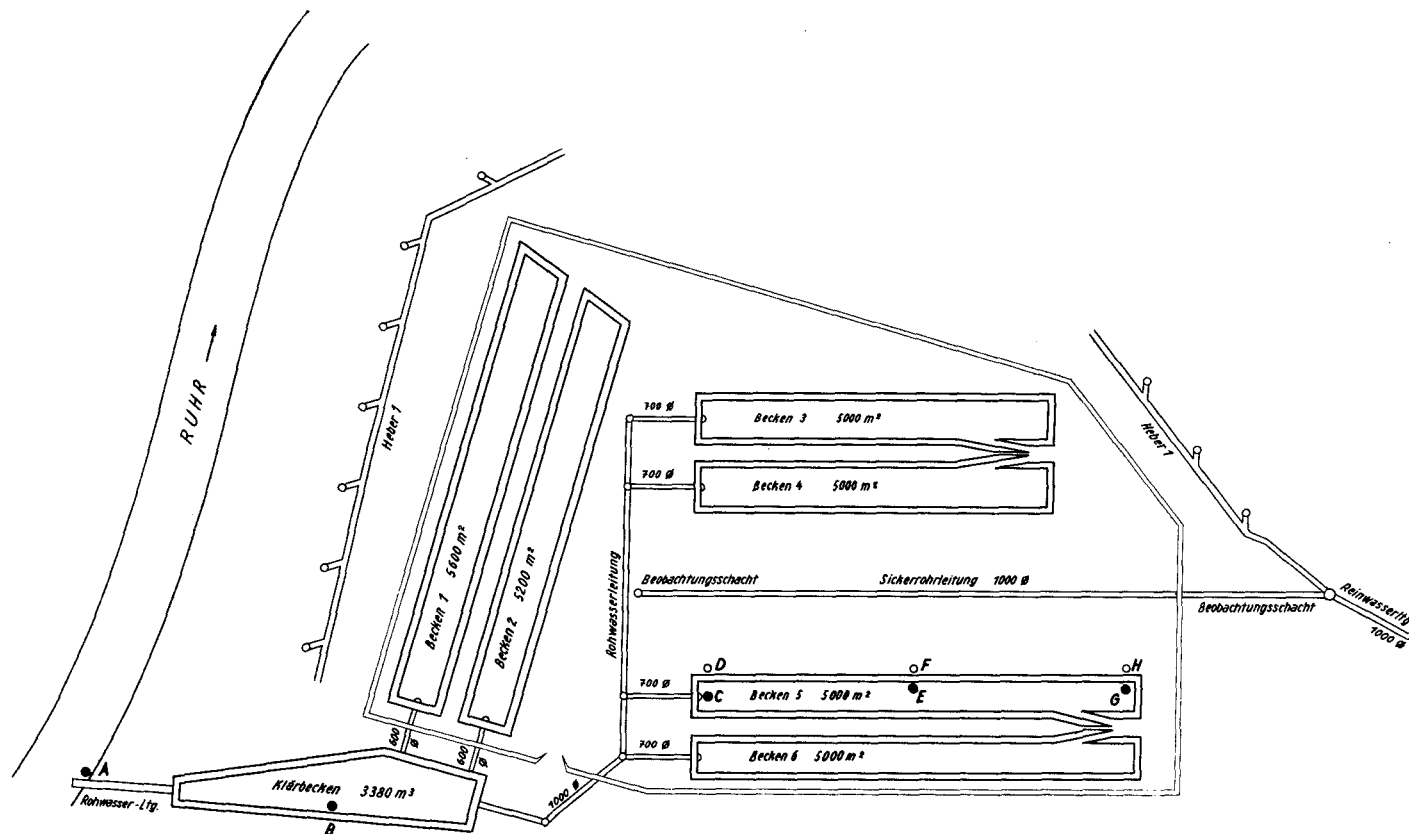


Abb. 6. Grundwasseranreicherungs-Anlage der Dortmunder Stadtwerke A.G. im Ruhrtal bei Schwerte
 A—H: Stellen der Entnahme von Wasserproben zur Anfertigung chemischer Analysen
 A, B, C, E, G: Oberflächenwasser; D, F, H: Subterranees Mischwasser

algenreichen Gewässern als recht wirksam anzunehmenden „biogenen Mineralisationsprozessen“ gemäß, insofern als dem Ammoniak- und Nitritschwund, in den Bereichen mit noch verhältnismäßig hohem NH_4 - und NO_2 -Gehalt, eine auffallende Nitratzunahme gegenübersteht, während zum Ende des Grundwasseranreicherungsbeckens 5 hin, neben dem hier erheblich zutage tretenden Ammoniak- und Nitritschwund auch ein Zurückgehen des Nitratgehaltes zu verzeichnen ist. Außer dem hier geringeren Vorhandensein von NH_4 und NO_2 , den Ausgangsstoffen zur Nitratbildung durch nitrifizierende Bakterien, kann das Zurückgehen des Nitratgehaltes im Endbereich des Beckens 5 auch durch die am Untersuchungstage gerade dort recht üppige Algenvegetation erklärt werden, insofern als von diesen Wasserpflanzen Nitrat-Ionen zum Aufbau von Eiweißkörpern aufgenommen werden. Auch der hohe pH-Wert an Untersuchungsstelle *G* ist ganz sicher auf Lebenstätigkeiten der hier infolge von Windtrift besonders massierten Algenansammlungen zurückzuführen, deren Assimilationsprozesse zur Zeit der Probeentnahme (13 Uhr; starke Sonnenbestrahlung) gerade die Tagesspitze der O_2 -Produktion erreicht haben mußten. Das Verhältnis der pH-Werte des Oberflächenwassers bei *G* und des dort im Untergrund vorhandenen subterranean Mischwassers (*H*) — pH 8,7 : pH 7,3 — zeigt, wie wenig der pH-Wert des Mischgrundwassers von der Wasserstoffionenkonzentration des Infiltrationswassers beeinflusst ist, was als eine Bestätigung dafür gewertet werden kann, daß der hohe pH-Wert des Oberflächenwassers (8,7) nur einen vorübergehenden Tageshöhepunkt ohne nachhaltige Wirkung auf das Grundwasser darstellt.

Im Gegensatz zu diesen pH-Wert-Befunden läßt das aus den Peilrohren *D*, *F*, *H* (Abb. 6; Tab. 1) geförderte Gemisch von Filtrat und Grundwasser in Hinblick auf seinen Nitratgehalt — zumindest andeutungsweise — erhebliche Einflüsse des filtrierte Wassers auf das Grundwasser erkennen. Das aus Peilrohr *H* geförderte Mischwasser weist besonders deutlich auf Veränderungen hin, die sich hinsichtlich des Nitratgehaltes beim Passieren der Filtersandschicht vollzogen haben müssen. Beim Peilrohr *D* (neben Anfang des Anreicherungsbeckens 5) hat das subterranean Mischwasser noch einen Nitratgehalt von gleicher Höhe wie beim Oberflächenwasser über dieser Versickerungsstelle (16,0 mg/l); bei Peilrohr *F* (Beckenmitte) zeigte sich jedoch bereits eine Zunahme von 12,5 mg/l auf 17,3 mg/l, bei dem zuerst erwähnten Peilrohr (*H*) am Beckenende sogar eine solche von 9,6 mg/l auf 16,8 mg/l.

Da bei dem untersuchten subterranean Mischwasser hinsichtlich seines NO_3 -Gehaltes, wie überhaupt in bezug auf seine chemische Zusammensetzung, noch eine Verdünnung mit dem sicher nitratärmeren Grundwasser berücksichtigt werden muß, ist der Nitratgehalt im Infiltrationswasser nach Durchströmen der Filtersandschicht zweifellos noch höher als der bei Gegenüberstellung der Befunde an Oberflächenwasser und zugehörndem Mischwasser sich ergebende. Dieses Verhalten des Nitratgehaltes stimmt mit Befunden an bremischen Trinkwasser-Langsamfiltern überein, deren Filtrat nämlich eine durchschnittliche Nitratzunahme von 2 mg/l beim Vergleich von Rohwasser und filtriertem Weserwasser erkennen läßt (vgl. *Husmann* [22], Tab. 1). Noch stärkere Zunahme in entsprechendem Wasser aus Langsamfiltern der Rotterdamer Wasserwerke — von 6,7 mg/l auf 11,0 mg/l — verzeichnet *Bettaque* [2], S. 32. Die im Verlauf der Sandpassage des Infiltrationswassers mit der Nitrat-

zunahme einhergehende eindrucksvolle Verringerung des Gehaltes an Ammoniak und Nitrit deutet auf die außerordentlich große Wirksamkeit dieser intergranularen Phase der Langsamfiltration hin, ganz abgesehen von den eindrucksvollen Veränderungen hinsichtlich des KMnO_4 -Verbrauchs.

Den Analysen in Tab. 2 liegt einerseits unbehandeltes Ruhrwasser zugrunde (Sty/6, Ke/1u2), andererseits mittels Schnellfilter vorbehandeltes Ruhrwasser (Sty/11). Bei den drei Analysen¹⁾ ist zu berücksichtigen, daß das zur Langsamfiltration in die Anreicherungsbecken gelangende Wasser bis zum Versickerungsbeginn eine Aufbesserung im Sinne des zu Tab. 1 Gesagten mehr oder weniger erfahren haben wird.

	Sty/6 31.10.60	Sty/11 31.10.60	Ke/1u.2 13.3.61
Temperatur °C	11,0	10,8	8,0
pH - Wert	7,2	6,9	7,2
KMnO_4 - Vbr. mg/l	12,6	8,5	13,6
Ges. Härte °DH	7,9	9,6	9,6
Karb. - Härte °DH	3,4	2,5	3,6
Nichtkarb. - Härte	4,5	7,1	6,0
CO_2 fr. mg/l	?	?	6,2
O_2 sofort mg/l	8,8	8,0	8,8
O_2 n. 48 Stdn. mg/l	6,0	6,8	5,2
NH_4 mg/l	0,3	-	0,75
NO_2 mg/l	0,3	-	0,1
NO_3 mg/l	21,0	20,0	24,0
Cl mg/l	40,0	38,0	53,0
Fe mg/l	0,6	0,05	0,75
Mn mg/l	0,75	0,1	0,15

Tab. 2. Die Beschaffenheit des Rohwassers in den Grundwasseranreicherungsanlagen bei Styrum und Kettwig (Ruhr)

Da also das Rohwasser bei seinem Vordringen vom Einlauf in das Anreicherungsbecken bis hin zum Beckenende einen recht unterschiedlichen Reinheitsgrad aufweist, sind die mesopsammalen Biozönosen vom Anfang bis zum Ende eines solchen Beckens gleitend verschiedenen wasserbedingten ökologischen Gegebenheiten ausgesetzt, die jedoch nicht nur vom Chemismus des Rohwassers geprägt werden, sondern auch von dessen Gehalt an in die Sandlückensysteme einschwemmbarer organischer und anorganischer Substanz. Es erscheint daher aufschlußreich, diese ökologischen Unterschiede durch eine Längsreihe von Untersuchungsstellen zu erfassen, und zwar in Hinblick auf die Wasserbeschaffenheit und, bei anschließender Trockenlegung des Filterbeckens, in bezug auf die Zusammensetzung der vom Infiltrationswasser beeinflussten Mesopsammalfauna und -substanz. Eine Fortführung der vorliegenden Untersuchungen auch in dieser Hinsicht ist vorgesehen.

¹⁾ Der Leiterin des Hydrologischen Labors der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerks-Gesellschaft, Mülheim/Ruhr, Frau Dr. Enger, danke ich für die Ausführung dieser chemischen Wasseranalysen.

4. Die untersuchten Grundwasseranreicherungsbecken

Zur Erfassung der mesopsamimalen Fauna wurden Sandproben aus folgenden Grundwasseranreicherungs-Anlagen entnommen und untersucht:

1. Grundwasseranreicherungs-Anlage des Wasserwerkes der Stadt Gelsenkirchen. Lage: Ruhrtalaue bei Fröndenberg (Westfalen):
 - a) Anreicherungsfilter 7 (Ge/7), 1. 11. 1960;
 - b) Anreicherungsfilter 10 (Ge/10), 1. 11. 1960.
2. Grundwasseranreicherungs-Anlage des Wasserwerkes Hamm (Westfalen). Lage: Ruhrtalaue bei Fröndenberg (Westfalen):
 - a) Anreicherungsfilter 5 (Ha/5), 1. 11. 1960.
3. Grundwasseranreicherungs-Anlagen der Dortmunder Stadtwerke A.G.:
 - a) Anreicherungsfilter 1 bei Rheinen (Ruhr) (Do/Rh/1), 12. 10. 1955;
 - b) Anreicherungsfilter 1 bei Wandhofen (Ruhr) (Do/Wa/1), 13. 11. 1956.
4. Grundwasseranreicherungs-Anlagen des Wasserwerkes der Stadt Mülheim (Ruhr):
 - a) Anreicherungsfilter 1 bei Kettwig (Ruhr) (Ke/1), 7. 3. 1961;
 - b) Anreicherungsfilter 2 bei Kettwig (Ruhr) (Ke/2), 7. 3. 1961;
 - c) Anreicherungsfilter 6 bei Styrum (Ruhr) (Sty/6), 31. 10. 1960;
 - d) Anreicherungsfilter 11 bei Styrum (Ruhr) (Sty/11), 31. 10. 1960;
 - e) Anreicherungsfilter 16 bei Styrum (Ruhr) (Sty/16), 31. 10. 1960.

Die in dieser Arbeit für die Untersuchungsstellen gebrauchten Abkürzungen sind in Klammern gesetzt; für die Reihenfolge der bearbeiteten Filteranlagen war deren Entfernung vom Quellgebiet der Ruhr ausschlaggebend.

5. Methodik der hydrobiologischen Untersuchung des Filtersandes

Zur Feststellung, ob Filtersande in Grundwasseranreicherungsbecken überhaupt von typischen Elementen der Sandlückenfauna besiedelt werden, wurden den Filtersandschichten der Anlagen Do/Rh/1 und Do/Wa/1 1000 ccm Sand aus 10–20 cm Tiefe entnommen.

Nach Auffinden charakteristischer Grundwassertiere in diesen Filtersanden (vgl. S. 177, Tab. 5) wurde an allen Untersuchungsstellen von vornherein die vertikale Verteilung der mesopsammalen Langsamfilterfauna erfaßt; und zwar mittels Entnahme von jeweils 100 ccm Substrat aus verschiedenen Tiefen der betr. Sandschichten. Das hierzu angewandte Verfahren und die Methode zur Weiterbehandlung der Proben (Isolierung, Fixierung, Konservierung und Auszählung der Sandlückenorganismen) konnten bereits in diesen Abhandlungen ausführlich geschildert werden (*Husmann* [22], S. 99).

6. Die Sandlückenfauna der untersuchten Grundwasseranreicherungs-Anlagen

Die in Filtersanden von Grundwasseranreicherungs-Anlagen des Ruhrtales angetroffene Mesopsammalfauna setzt sich im wesentlichen aus Fadenwürmern (Nematoda), Ringelwürmern (Oligochaeta) und Ruderfußkrebsen (Copepoda) zusammen. Daneben wurden in geringer Anzahl auch Strudelwürmer (Turbellaria) und Wassermilben (Porohalacaridae) angetroffen. Es zeigte sich also, daß sämtliche systematischen Einheiten, die das mesopsammale Faunenbild bisher

untersuchter Trinkwasser-Langsamfilter prägen (Husmann [22, 25]), auch bezeichnend für die Zusammensetzung der intergranularen Biozöosen in den bearbeiteten Grundwasseranreicherungs-Filtern des Ruhrtales sind.

Während jedoch in den Sandschichten der bremischen Trinkwasserfilter, bei allgemein ausgesprochen spärlicher Besiedlung der oberflächennahen Sandschichtbereiche, die weitaus größten Individuendichten durchweg in einer Tiefenlage von 20–30 cm unterhalb der Sandoberfläche deutlich in Erscheinung traten ([22], S. 106–108), lassen die Filtersandbiozöosen der Grundwasseranreicherungsbecken des Ruhrtales in dieser Hinsicht keine Übereinstimmung erkennen. So erreichen vielmehr im Becken Sty/16 sowohl Nematoden als auch Oligochaeten und Copepoden besonders hervorstechend ihre größte Individuenzahl gerade in den oberflächennahen Bereichen der Sand-

	Ke/1 - 7.3.61			Ke/2 - 7.3.61		Sty/6 - 31.10.60			Sty/11 - 31.10.60		Sty/16 - 31.10.60			
	Nem.	Olig.	Cop.	Nem.	Olig.	Nem.	Olig.	Cop.	Nem.	Olig.	Nem.	Olig.	Cop.	
0 - 4cm						123	24		8		184	363	88	0 - 4cm
10 - 14cm					1	483	34		14	3	106	305	74	10 - 14cm
20 - 24cm					1	205	10	2	7	1	26	238	9	20 - 24cm
30 - 34cm						173	8	1	9	1	43	293	8	30 - 34cm
40 - 44cm	1		4						3		46	161	5	40 - 44cm
50 - 54cm	2		1	3					32					50 - 54cm
60 - 64cm	3													60 - 64cm
70 - 74cm	1	2	1											70 - 74cm

Tab. 3. Die quantitative Verteilung der Nematoden, Oligochaeten und Copepoden in jeweils 100 cm Filter-sand verschiedener Tiefenlagen aus Grundwasseranreicherungsbecken im Raum Mülheim-Kettwig (Ruhr)

schicht (Tab. 3 u. Abb. 7). In Anreicherungsfilter Ge/7 hingegen tritt die größte Massierung der Intergranularfauna im Basisbereich des Filtersandes hervor (Tab. 4 u. Abb. 8), während im Becken Sty/6 die Tiefenlage von 10–14 cm unter der Sandoberfläche ausgefallen dicht besiedelt wird (Tab. 3 u. Abb. 9). Becken Ha/5 (Tab. 4 u. Abb. 10) fällt sogar durch zwei Dichtespitzen auf, von denen eine an der Oberfläche der Sandschicht, die andere direkt über deren Basis liegt, eine Erscheinung, die andeutungsweise auch im Befund vom Becken Sty/16 festzustellen ist (Tab. 3 u. Abb. 7).

Die mesopsammale Besiedlung bremischer Langsamfilter, die der direkten Gewinnung von Trinkwasser dienen (Husmann [22]), und jene von Grundwasseranreicherungsfiltern des Ruhrtales unterscheiden sich nun aber nicht allein in der Zonierung der Entfaltung größter Individuendichten innerhalb der Sandschichten; auch die Anteile der einzelnen systematischen Einheiten

(Nematoda, Oligochaeta, Copepoda) zeigen vor allem insofern andersgelagerte Verhältnisse, als die in den Langsamfiltern der Stadt Bremen durchweg nur vereinzelt auftretenden Copepoden in den Anreicherungsfiltern des Ruhrtales stellenweise einen erheblichen Teil der jeweiligen Biomasse ausmachen, wie beispielsweise in den Filterbecken Ge/7, Ha/5 und Sty/16 (Tab. 3 u. 4; Abb. 8, 10 u. 7).

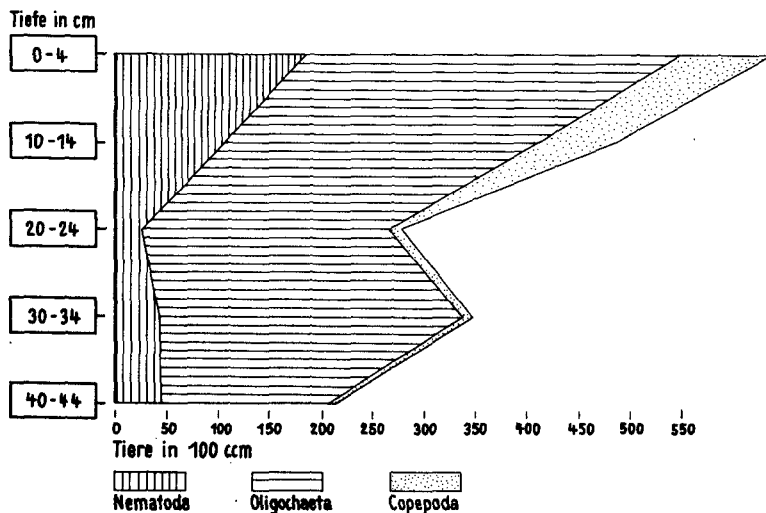


Abb. 7. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Grundwasseranreicherungsbecken Sty/16 am 31. 10. 1960

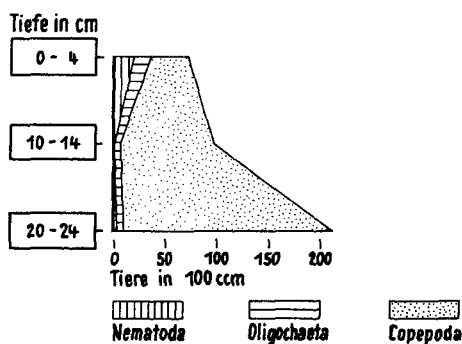


Abb. 8. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Grundwasseranreicherungsbecken Ge/7 am 1. 11. 1960

Die Ursache der auffallend unterschiedlichen Verteilung der Sandlückenfauna innerhalb der untersuchten Sandschichten und auch der Grund für das mengenmäßige Hervor- bzw. Zurücktreten der Nematoden, Oligochaeten oder Copepoden innerhalb der untersuchten Biozönosen könnten in einer unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzung der Substratkomponenten in den verschiedenen Tiefenlagen vermutet und auf eine entsprechend differenzierte

Geräumigkeit der Sandlückensysteme zurückgeführt werden. Eine solche Erklärung kommt für die festgestellte Organismenverteilung jedoch nicht in Betracht, da Filtersandschichten allgemein eine ziemlich einheitliche Korngrößenverteilung von der Sandoberfläche bis herab zur Basis der Filterschicht aufweisen, die von vornherein durch die Siebung des Rohsandcs angestrebt wird.

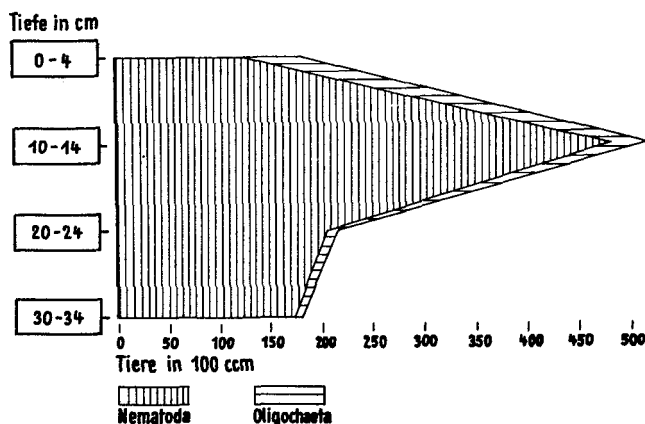


Abb. 9. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Grundwasseranreicherungsbecken Sty/6 am 31. 10. 1960

	Ge/7-1.11.60			Ge/10-1.11.60		Ha/5-1.11.60			
	Nem.	Olig.	Cop.	Nem.	Cop.	Nem.	Olig.	Cop.	
0-4cm	19	16	37	13	28	219	42		0-4cm
10-14cm		4	92	11	17	33	35	7	10-14cm
20-24cm	2	7	203	5	7	18	31	11	20-24cm
30-34cm				12	2	2	19	16	30-34cm
40-44cm							18	27	40-44cm
50-54cm						7	41	31	50-54cm
60-64cm						4	47	87	60-64cm

Tab. 4. Die quantitative Verteilung der Nematoden, Oligochaeten und Copepoden in jeweils 100 cm Filtersand verschiedener Tiefenlagen aus Grundwasseranreicherungsbecken im Raum Fröndenberg (Ruhr)

Eine Erklärung für die verschiedenartige Verteilung der mesopsammalen Faunenelemente, wie auch eine Deutung des „Keimzahlpektrums“ zwischen Sandoberfläche und -basis, können offenbar erst dann gegeben werden, wenn

— mittels einer einwandfreien Methode — aus ganz bestimmten Tiefenlagen von Filtersandschichten neben den Sandproben auch Wasserproben entnommen werden können. Der dann zwischen Sandoberfläche und Sandbasis zu erfassende jeweilige Veränderungsgrad des aufzubereitenden verunreinigten Rohwassers wird sich zweifellos zum physiologischen Verhalten der einzelnen Sandlückenorganismen — Protisten und Metazoen! — in Beziehung setzen lassen, wobei allerdings das jeweilige Verhältnis von intergranularer Biomasse zur Masse der „Mesopsammalsubstanz“ mit zu berücksichtigen ist.

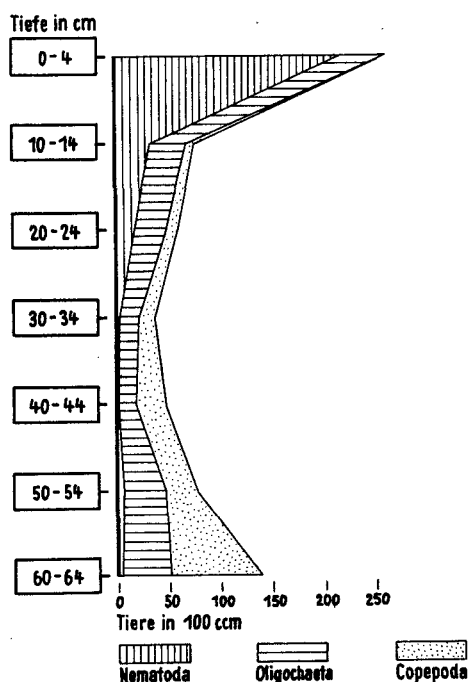


Abb. 10. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna
im Grundwasseranreicherungsbecken Ha/5
am 1. 11. 1960

Die Bestimmung der in den Anreicherungsfiltern des Ruhrtales angetroffenen Nematoden und Oligochaeten steht noch aus. Herrn Prof. Dr. *Fr. Kiefer*, Konstanz, und Herrn Dr. *J. Schwoerbel*, Falkau, danke ich für die Determination der Copepoden bzw. der Porohalacariden:

Liste der Filtersand-Arthropoden des Ruhrtales

Copepoda (Harpacticoida):

1. *Phyllognathopus viguieri* (MAUPAS 1892)
2. *Parastenocaris fontinalis borea* KIEFER 1960
3. *Parastenocaris glacialis* NOODT 1954
4. *Epactophanes richardi* MRAZEK 1893

Copepoda (Cyclopoida):

1. *Graeteriella unisetigera* (GRAETER 1908).

Acarina (Porohalacaridae):

1. *Lobohalacarus weberi quadriporus* (WALTER 1947).

Sämtliche Filtersandarthropoden des Ruhrtales (Abb. 11) sind Elemente der stygobionten Grundwasserfauna. Ihr primärer natürlicher Lebensraum sind die grundwasserführenden Lückensysteme sandigkiesiger Ablagerungen.

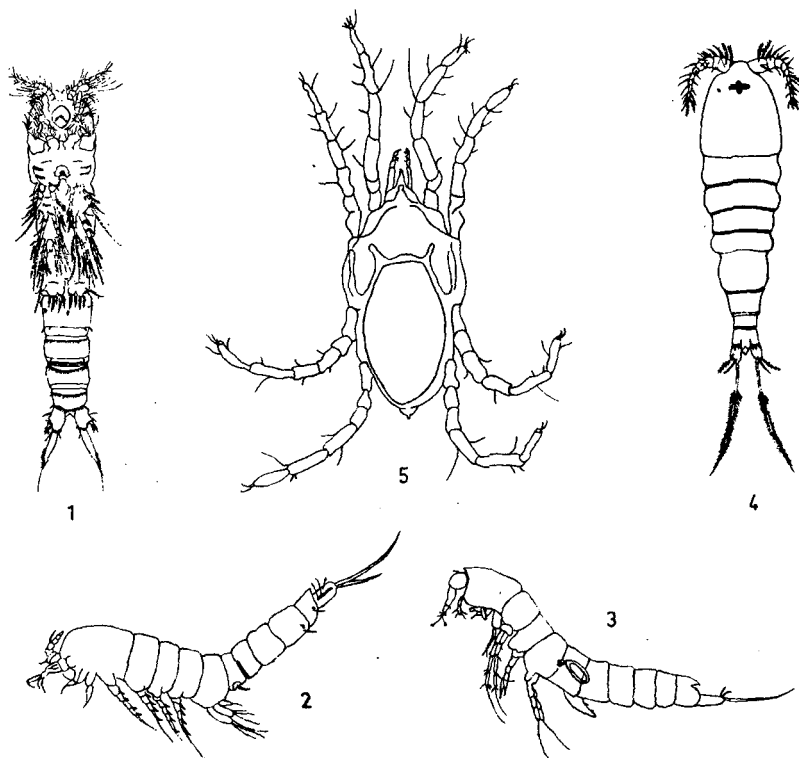


Abb. 11. Stygobionte Arthropoden der Filtersandfauna des Ruhrtales:

Fig. 1: *Phyllognathopus viguieri* (MAUPAS) (n. Chappuis)

Fig. 2: *Epactophanes richardi* MRAZEK (n. Willey)

Fig. 3: *Parastenocaris fontinalis* SCHNITTER & CHAPPUIS (n. Schnitter u. Chappuis)

Fig. 4: *Graeteriella unisetigera* (GRAETER) (n. Leruth)

Fig. 5: *Lobohalacarus weberi quadriporus* (WALTER) (n. Husmann)

Phyllognathopus viguieri, *Epactophanes richardi* und *Graeteriella unisetigera* fügen sich sowohl in hyporheischen als auch in hypogäischen intergranularen Grundwasserströmen der ökologisch eng an das Mesopsammal gebundenen „*Parastenocaris-Bathynella*-Biozönose“ ein, während *Lobohalacarus weberi quadriporus* offenbar ausschließlich in ufernahen Bereichen der obengenannten

Lebensgemeinschaft angehören kann, dort aber stärker als die übrigen Elemente dieser Biozönose befähigt ist, auch die geräumigeren Lückensysteme zwischen groberen Substratkomponenten zu besiedeln, und das zweifellos aus dem Grunde, weil diese halacaride Subterranmilbe den diesen Biotop beherrschenden Hydrachnellae und Insektenlarven „zöologisch gewachsen“ ist.

Über die ausgeprägte Neigung aller Elemente der „*Parastenocaris-Bathynella*-Biozönose“, in Vergesellschaftung miteinander zu leben, über ihre „zöologische Affinität“, wurde bereits ausführlich berichtet (Husmann [22 u. 25]), und zwar in Zusammenhang mit dem Auftreten von *Phyllognathopus viguieri*, *Epactophanes richardi* und *Lobohalacarus weberi quadriporus* in bremischen Filtersanden, wobei auch ausführlich erörtert wurde, daß die Gattungen *Phyllognathopus*, *Epactophanes* und *Parastenocaris* als phylogenetisch alte Faunenelemente nicht nur ihren ursprünglichen, „archaischen“ Biotop „Mesopsammal“ besiedeln, sondern, insbesondere in tropischen Gebieten, auch in dem verwandten, extremen pflanzlichen Lückenbiotop zwischen Moosblättern, dem „Mesobryophytal“, eine ihren ökologischen Ansprüchen gemäße Lebensstätte gefunden haben.

Es war nun ökologisch besonders aufschlußreich, neben den „bremischen Filtersandarthropoden“ sowohl den ebenfalls der „*Parastenocaris-Bathynella*-Biozönose“ zuzurechnenden Ruderfußkreb *Graeteriella unisetigera* als auch zwei Formen der für die genannte Lebensgemeinschaft mit namensgebender Gattung *Parastenocaris* KESSLER in den Filtersanden des Ruhrtales anzutreffen, nämlich *Parastenocaris glacialis* NOODT und *Parastenocaris fontinalis borea* KIEFER.





Während die Ruderfußkrebse (Copepoda) *Phyllognathopus viguieri* und *Epactophanes richardi* in den untersuchten bremischen Filtersanden mit annähernd gleicher Individuendichte angetroffen wurden (Husmann [25], Tab. 3),

	Do/Rh/1-15.10.55			Do/Wa/1-13.11.56		
	♀♀	♂♂	juv.	♀♀	♂♂	juv.
<i>Phyllognathopus viguieri</i> (MAUPAS)		1				
<i>Epactophanes richardi</i> MRÁZEK	11	5	9	55	17	
<i>Parastenocaris fontinalis borea</i> KFR				1		
<i>Parastenocaris glacialis</i> NOODT	1		1	147	1	

Tab. 5. Die quantitative Verteilung der harpacticoiden Copepoden in 1000 ccm Filtersand aus Grundwasseranreicherungsbecken im Ruhrtal bei Schwerte. Tiefenlage der Sandprobe: 10–20 cm unter der Filtersandoberfläche

tritt *Phyllognathopus* gegenüber *Epactophanes* in den Filtersanden der bearbeiteten Grundwasseranreicherungs-Anlagen des Ruhrtales erheblich zurück (Tab. 5 u. 6). Das wurde schon durch die Ergebnisse der stichprobenartigen Anfangsuntersuchungen im Ruhrtal bei Schwerte deutlich (Tab. 5), als zwei Proben insgesamt 97 Exemplare von *Epactophanes richardi*, aber nur einen *Phyllognathopus viguieri* enthielten.

	Ge/7	Ge/10	Ha/5	Ke/1	Sty/6	Sty/16	
0-4 cm	37	28				42	46
10-14 cm	92	17	7			74	
20-24 cm	203	7	11		2	9	
30-34 cm		2	16		1	8	
40-44 cm			27	4		5	
50-54 cm			31	1			
60-64 cm			87				
70-74 cm				1			

	<i>Phyllognathopus viguieri</i> (MAUPAS 1892)
	<i>Epactophanes richardi</i> MRÁZEK 1893
	<i>Parastenocaris fontinalis borea</i> KFR 1960
	<i>Graeteriella unisetigera</i> (GRAETER 1908)

Tab. 6. Die quantitative Verteilung von *Phyllognathopus viguieri*, *Epactophanes richardi*, *Parastenocaris fontinalis borea* und *Graeteriella unisetigera* in jeweils 100 ccm Filtersand verschiedener Tiefenlagen

Ausgesprochen selten kommen im Ruhrtal auch *Parastenocaris fontinalis borea* und *Graeteriella unisetigera* (Tab. 5 u. 6) vor. Die Tatsache aber, daß *Parastenocaris glacialis* im Filtersand des Beckens Do/Wa/1 mit 148 Exemplaren eine doppelt so hohe Individuenzahl erreicht als *Epactophanes richardi* (Tab. 5), deutet darauf hin, wie sehr auch im künstlichen Mesopsammal von Filtersanden bestimmte besiedlungsregelnde Faktoren (vgl. S. 166) für die Zusammensetzung der verschiedenen Filtersand-Lebensgemeinschaften wirksam sein können. So deutet gerade das Vorkommen der Gattung *Parastenocaris* KESSLER offensichtlich auf die bei Grundwasseranreicherungs-Anlagen unter Umständen gegebene Invasionsmöglichkeit für aquatile Subterrantiere vom Grundwasser her in die Filtersande hinein (S. 166) hin. Es ist in dieser Hinsicht aufschlußreich, daß die Gattung *Parastenocaris* in den bremischen Sandfiltern vollkommen fehlt, deren Filtrat ja nicht in subterrane Bereiche, sondern ins Trinkwassernetz abfließt. Sie fehlt dort im Filtersand, obwohl sie mit drei Formen — *phyllura*, *vicesima* und *fontinalis borea* — im Sandufer der Weser vorkommt, und zwar nicht nur in Vergesellschaftung mit *Epactophanes richardi*, sondern zudem mit sämtlichen bremischen Filtersandnematoden und -oligochaeten (Husmann [22]). Das Vorkommen von *Epactophanes richardi* in allen Tiefenlagen der bremischen Filtersande und das Fehlen der Parasteno-

cariden darin findet eine auch für die Ruhrfilter-Verhältnisse bedeutsame Erklärung, wenn man berücksichtigt, daß *Epactophanes* völliges Austrocknen des Rohsandes zu überdauern vermag (Menzel [33], S. 145), während *Parastenocaris* eine gewisse Restfeuchtigkeit in austrocknenden Sanden beansprucht (Menzel [34], S. 301; Husmann [23], S. 67). Eine Verschleppung innerhalb von Rohsanden aus den natürlichen Lebensbereichen in Langsamsandfilter-Anlagen hinein ist also für *Epactophanes richardi* durchaus möglich und wohl sicher der Grund für die allgemeine Verbreitung dieses harpacticoiden Ruderfußkrebses in den untersuchten Langsamfiltern, ganz abgesehen davon, daß die heterogone Fortpflanzungsweise dieser Art die erwähnte Verbreitungsfähigkeit noch unterstützt. Auch die Wassermilbe *Lobohalacarus weberi quadriporus*, die im Ruhrtal (Filter Ha/5 in allen Tiefenlagen, Filter Ke/2 und Sty/16 in 20–24 cm Sandtiefe vereinzelt) und in bremischen Sandfiltern (Husmann [22, 25]) angetroffen wurde, gelangt sicher durch Verschleppung in die Sandschichten von Grundwasseranreicherungs-Becken und Trinkwasserfiltern, zumal da diese Unterart auf das hyporheische Grundwasser beschränkt zu sein scheint, also nicht im Untergrund der in Talauen gelegenen Grundwasseranreicherungs-Anlagen zu erwarten ist. Bei dieser Form kann also damit gerechnet werden, daß sie dem Mesopsammal des Niederrheines entstammt, da die Filtersande der Anreicherungsbecken des Ruhrtales dort gebaggert worden sind. Eine zoogeographische Auswertung der Funde ist also nicht allgemein gerechtfertigt. Inwieweit neben der Gattung *Parastenocaris* auch für andere Grundwassertiere eine Einwanderung vom subterranean Wasserspiegel her in die Filtersande von Grundwasseranreicherungs-Anlagen angenommen werden kann, ist eine Frage, der nachzugehen recht aufschlußreich erscheint.

7. Zusammenfassung

Die Filtersandschichten der untersuchten Grundwasseranreicherungs-Anlagen des Ruhrtales sind als künstliche Biotope der mesopsammalen Grundwasserfauna in allen Tiefenlagen insbesondere von Nematoden, Oligochaeten, Harpacticoiden, Cyclopoiden und Wassermilben besiedelt. Sämtliche Arthropoden sind stygobionte Elemente der mesopsammalen Grundwasserfauna. Sie sind entweder vom anzureichernden Grundwasser her in die Filtersande eingewandert (Gattung *Parastenocaris* KESSLER) oder aber aus grundwasserführenden Sandufern mit dem Rohsand in die Filtersandschichten verschleppt worden (*Lobohalacarus weberi quadriporus* [WALTER] und *Epactophanes richardi* MRAZEK), für welche letztere Art jedoch beide Herkunftsmöglichkeiten offenstehen.

8. Literatur

- [1] E. Angelier (1953): Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés. — Arch. Zool. Expér. et Gen., **90**, 2, 37–162, Paris.
- [2] R. H. G. Bettaque (1958): Studien zur künstlichen Grundwasseranreicherung. — Veröffentlichungen Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft T. H. Hannover, **2**, 105 S., Hannover.
- [3] P. A. Chappuis (1916): *Viguiarella coeca* MAUPAS. — Rev. Suisse Zool., **24**, 522–564, Genf.

- [4] *P. A. Chappuis* (1916a): Die Metamorphose einiger Harpacticidengenera. — Zool. Anz., 48, 20—31, Leipzig.
- [5] *P. A. Chappuis* (1927): Die Tierwelt der unterirdischen Gewässer. — In: *A. Thienemann*, „Die Binnengewässer“, 3, 175 S., Stuttgart.
- [6] *P. A. Chappuis* (1931): Copepoda Harpacticoida der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. — Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd. VII, Tropische Binnengewässer I, 512—584, Stuttgart.
- [7] *P. A. Chappuis* (1944): Die Grundwasserfauna der Körös und des Szamos. — A Magyar Tudományos Akadémia Kiadása, 42 S., Budapest.
- [8] *P. A. Chappuis* (1948): Copépodes, Syncarides et Isopodes des eaux phréatiques de Suisse. — Rev. Suisse Zool., 55, 549—566, Genf.
- [9] *P. A. Chappuis* (1954): Recherches sur la faune interstitielle des sédiments marins et d'eau douce à Madagascar. — Mém. Inst. sci. Madag. A., 9, 45—173, Paris.
- [10] *P. A. Chappuis* (1955): Harpacticoides psammiques du Lac Tanganika. — Rev. Zool. Bot. Afr., LI, 68—80, Bruxelles.
- [11] *Th. Delachaux* (1924): Zur Kenntnis der Copepodenfauna von Surinam. II. Harpacticiden. — Zool. Anz., 59, 1—16, Leipzig.
- [12] *C. Delamare* — *Deboutteville* (1955): Eaux souterraines littorales de la Côte Catalane Française. — Vie et milieu, V, 408—451, Paris.
- [13] *C. Delamare* — *Deboutteville* (1960): Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. — Verl. Hermann, 740 S., Paris.
- [14] *G. Dichtl* (1956): Die Grundwasserfauna im Salzburger Becken und im anschließenden Alpenvorland. Diss., Innsbruck 1956.
- [15] *F. A. Forel* (1901): Handbuch der Seenkunde, Stuttgart.
- [16] *E. Haine* (1946): Die Fauna des Grundwassers von Bonn mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. — 144 S., Melle in Hannover.
- [17] *L. Hertzog* (1936): Crustaceen aus unterirdischen Biotopen des Rheintales bei Straßburg. I. Mitt. — Zool. Anz., 114, 271—279, Leipzig.
- [18] *L. Hertzog* (1936a): Crustacés des biotopes hypogées de la vallée du Rhin d'Alsace. — Bull. Soc. zool. de France, LXV, 356—372, Paris.
- [19] *L. Hertzog* (1938): Crustaceen aus unterirdischen Biotopen des Rheintales bei Straßburg. III. Mitt. — Zool. Anz., 123, 45—56, Leipzig.
- [20] *S. Husmann* (1956): Untersuchungen über die Grundwasserfauna zwischen Harz und Weser. — Arch. f. Hydrobiol., 52, 1—184, Stuttgart.
- [21] *S. Husmann* (1957): Die Besiedlung des Grundwassers im südlichen Niedersachsen. — Beitr. z. Natk. Nieders., 10, 46—73, Hildesheim.
- [22] *S. Husmann* (1958): Untersuchungen über die Sandlückenfauna der bremsischen Langsamfilter. — Abh. d. Braunsch. Wiss. Ges., 10, 94—116, Braunschweig.
- [23] *S. Husmann* (1958a): Sand- und Schotterufer als Grenzbereiche limnologischer und bodenbiologischer Forschung. — Gewässer und Abwässer, 22, 66—69, Düsseldorf.
- [24] *S. Husmann* (1959): Neuere Ergebnisse der Grundwasserbiologie und ihre Bedeutung für die Praxis der Trinkwasserversorgung. — Gewässer und Abwässer, 24, 33—48, Düsseldorf.
- [25] *S. Husmann* (1960): Über einige blinde Arthropoden aus dem Mesopsammal bremsischer Langsamfilter. — Abh. naturw. Ver. Bremen, 35, 421—437, Bremen.
- [26] *H. Jakobi* (1954): Biologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik von *Bathynella natans* VEJD. — Zool. Jb. (Systematik), 83, 3—62, Jena.
- [27] *St. Karaman* (1935): Die Fauna der unterirdischen Gewässer Jugoslawiens. — Verh. Int. Ver. Limnol., 7, 46—73, Stuttgart.
- [28] *Fr. Kiefer* (1957): Die Grundwasserfauna des Oberrheingebietes mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. — Beitr. nat. Forsch. Südwestdeutschland, 16, 65—91, Karlsruhe.
- [29] *Fr. Kiefer* (1960): Psammobionte Ruderfußkrebse (Crust. Cop.) aus dem Gebiet der Unterweser und von der Insel Helgoland. — Zool. Anz., 165, 30—37, Leipzig.
- [30] *Fr. Kiefer* (1960): Subterrane Ruderfußkrebse (Crust. Cop.) aus dem Ruhrtal. — Zool. Anz., 165, 323—329, Leipzig.
- [31] *H. Kunz* (1940): Harpacticoiden vom Sandstrand der Kurischen Nehrung. — Kieler Meeresf., 3, 148—157, Kiel.
- [32] *R. Leruth* (1939): La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique. — Mém. Mus. roy. Hist. nat. Belg., 87, 506 S., Brüssel.

- [33] *R. Menzel* (1921): Beiträge zur Kenntnis der Mikrofauna von Niederländisch Ost-Indien. I. Moosbewohnende Harpacticiden. — *Treubia*, **2**, 137—145, Buitenzorg.
- [34] *W. Noll* u. *H. J. Stammer* (1953): Die Grundwasserfauna des Untermaingebietes von Hanau bis Würzburg mit Einschluß des Spessarts. — *Mitt. Naturw. Mus. Aschaffenburg*, N. F., **6**, 77 S., Aschaffenburg.
- [35] *W. Noodt* (1952): Subterrane Copepoden aus Norddeutschland. — *Zool. Anz.*, **148**, 331—343, Leipzig.
- [36] *Tr. Orghidan* (1959): Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: der hyporheische Biotop. — *Arch. Hydrobiol.*, **55**, 392—414, Stuttgart.
- [37] *R. W. Pennak* (1940): Ecology of the microscopic Metazoa inhabiting the sandy beaches of some Wisconsin Lakes. — *Ecol. Monogr.*, **10**, 337—615, Durham.
- [38] *A. Remane* u. *E. Schulz* (1935): Das Küstengrundwasser als Lebensraum. — *Schr. naturwiss. Ver. Schlesw.-Holst.*, **20**, 399—408, Kiel.
- [39] *A. Remane* (1952): Die Besiedlung des Sandbodens im Meere und die Bedeutung der Lebensformtypen für die Ökologie. — *Verh. dtsh. zool. Ges. Wilhelmshaven* 1951, 327—359, Leipzig.
- [40] *A. Ruttner-Kolisko* (1953): Psammonstudien I. Das Psammon des Torneträsk in Schwedisch-Lappland. — *Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., Abt. I*, **162**, 129—161, Wien.
- [41] *A. Ruttner-Kolisko* (1954): Psammonstudien II. Das Psammon des Erken in Mittelschweden. — *Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., Abt. I*, **163**, 301—324, Wien.
- [42] *A. Ruttner-Kolisko* (1955): *Rheomorpha neiswestnovae* und *Marinellina flagellata*, zwei phylogenetisch interessante Wurmtypen aus dem Süßwassersammon. — *Österr. Zool. Zschr.*, **6**, 55—69, Wien.
- [43] *A. Ruttner-Kolisko* (1956): Psammonstudien III. Das Psammon des Lago Maggiore in Oberitalien. — *Mem. Inst. Ital. Idrobiol.*, **9**, 365—402, Milano.
- [44] *A. Ruttner-Kolisko* (1957): Der Lebensraum des Linnopsammals. — *Verh. Dt. Zool. Ges. Hamburg* 1956, 421—427, Leipzig.
- [45] *D. N. Sassuchin*, *N. M. Kabanov*, *K. S. Neizwestnova* (1927): Über die mikroskopische Pflanzen- und Tierwelt der Sandfläche des Okaufers bei Murow. — *Russ. hydrobiol. Z. Saratow*, **6**, 59—83.
- [46] *H. W. Schäfer* (1951): Über die Besiedlung des Grundwassers. — *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **11**, 324—330, Stuttgart.
- [47] *H. Schnitter* u. *P. A. Chappuis* (1915): *Parastenocaris fontinalis* nov. spec., ein neuer Süßwasserharpacticide. — *Zool. Anz.*, **45**, 290—302, Leipzig.
- [48] *J. Schwoerbel* (1955): Über einige Porohalacariden (Acari) aus dem südlichen Schwarzwald. — *Zool. Anz.*, **155**, 146—150, Leipzig.
- [49] *L. Szalay* (1948): Hydrachnellae et Porohalacaridae (Acari) aus unterirdischen Gewässern des Karpatenbeckens. — *Fragm. Faunist. Hung.*, **XI**, 75—76, Budapest.
- [50] *D. Teschner* (1961): Biologische Beobachtungen an Grundwassermilben. — *Verh. Dt. Zool. Ges. Bonn* 1960, 403—409, Leipzig.
- [51] *A. Thienemann* (1933): Die Tierwelt der *Nepenthes*-Kannen. — *Arch. Hydrobiol.*, Suppl.-Bd. **XI**, 1—54, Stuttgart.
- [52] *A. Thienemann* (1950): Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. In: *A. Thienemann*: „Die Binnengewässer“, **18**, Stuttgart.
- [53] *K. Viets* (1955): In subterranean Gewässern Deutschlands lebende Wassermilben (Hydrachnellae, Porohalacaridae und Stygothrombiidae). — *Arch. Hydrobiol.*, **50**, 33—63, Stuttgart.
- [54] *C. Walter* (1947): Neue Acari (Hydrachnellae, Porohalacaridae, Trombididae) aus subterranean Gewässern der Schweiz und Rumäniens. — *Verh. Naturf. Ges. Basel*, **58**, 146—238, Basel.
- [55] *J. Wozniowski* (1934): Recherches écologiques sur le psammon et spécialement sur les Rotifères psammiques. — *Arch. Hydrobiol. Rybactwa*, **8**, Suwalki.
- [56] *J. Wozniowski* (1947): Remarques relatives aux recherches récentes sur le psammon d'eau douce. — *Arch. Hydrobiol. Rybactwa*, **18**, 7—36, Suwalki.

(Aus der Hydrobiologischen Anstalt der Max-Planck-Gesellschaft,
Fulda station, Schlitz (Hessen).)